

показаны результаты моделирования, полученные с помощью численного интегрирования методом Рунге-Кутты 4-го порядка уравнений (10).

Заметим, колебания происходят вблизи основного относительного угла увода равного 1,1. Для рассматриваемого случая  $k_L = 1,13$ .

### **Выводы**

В рамках метода малого верчения [9] предложена механико-математическая модель колебаний подвески шасси пневмоколенной машины относительно заданным образом движущегося корпуса. Потенциально в системе возможны колебания шимми. В отличие от известных работ по шимми учтена боковая скорость корпуса и, как следствие, изучаемое движение происходит вблизи значительного угла увода пневмоколенной. Рассмотрен пример, относящийся к передней стойки шасси самолета. Наблюдаемые колебания обусловлены немонотонностью трения на шине пневмоколенной. В целом работа направлена на совершенствование математического моделирования динамики пневмоколенных машин.

**Список літератури:** 1.Келдыш М.В. Шимми переднего колеса трехколесного шасси [Текст] /М.В. Келдыш// Труды ЦАГИ, 1945. - №564. - 37 с. 2.Sura N.K. Closed-form analytical solution for the shimmy instability of nose-wheel landing gears [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan// Journal of aircraft.- 2007.- Vol. 44, No 6. – P. 1985 - 1990. 3.Sura N.K. Lateral response of nonlinear nose-wheel landing gear models with torsional free play [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan// Journal of aircraft.. - 2007.- Vol.44, No. 6. - P. 1991-1997. 4.Sura N.K. Lateral response of nose-wheel landing gear system to ground-induced excitation [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan//Journal of aircraft. – 2007.- Vol.44, No. 6. – P. 1998-2005. 5.Sura N.K. Stability and response studies on simplified modes of nose-wheel landing gear with hard tires [Текст]/ N.K. Sura, S. Suryanarayan//Aerospace engineering division journal of the institution of engineers. – 2004.- Vol. 85. - P. 29-36. 6.Pacejka H.B. Tyre and vehicle dynamics [Текст]/ H.B. Pacejka. - Butterworth-Heinemann, 2006. - 642 p. 7.Журавлев В.Ф. О механизме явления шимми [Текст]/В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов//Доклады РАН. – 2009.- Т.428, №6. - С.761-764. 8.Журавлев В.Ф. Теория явления шимми [Текст]/ В.Ф. Журавлев, Д.М. Климов// Изв. РАН. МТТ. – 2010.- №3. - С.22-29. 9.Шифрин Б.М. О математическом моделировании колебаний транспортных машин при уводе пневмоколенных [Текст]/ Б.М. Шифрин //Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2010, 6/9(48). С.29-39.

*Поступила в редколлегию 12.05.2011*

### **УДК 612.9-621.98**

**А.И. БЕЛОВОД**, канд. техн.наук, доц., Полтавская государственная аграрная академия

**В.В. ДУДНИК**, асп., Полтавская государственная аграрная академия

**А.В. КАНИВЕЦ**, асп., Полтавская государственная аграрная академия

**А.А. ДУДНИКОВ**, канд. техн. наук, проф., Полтавская государственная аграрная академия

### **ВЛИЯНИЕ ТРЕНИЯ НА ИЗНАШИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Розглянуті питання класифікації процесу зношування деталей машин під час тертя.

Ключові слова: поверхня контакту, довговічність, шорсткість, коефіцієнт тертя, вібраційне зміцнення, контактне тертя

Рассмотрены вопросы классификации процесса изнашивания деталей машин при трении. Ключевые слова: поверхность контакта, долговечность, шероховатость, коэффициент трения, вибрационное упрочнение, контактное трение.

The questions of classification of process of wear of details of machines are considered at a friction. Keywords: surface of contact, longevity, roughness, coefficient of friction, oscillation work-hardening, pin friction.

## **Введение**

При обработке металлов давлением, как правило, возникает неоднородность напряженного состояния, а следовательно, и неоднородность деформации. В связи с неоднородностью деформации отдельные слои и элементы деформируемого тела стремятся к различному изменению размеров. В результате, кроме внутренних сил, уравнивающих внешне приложенные силы, в обрабатываемом материале возникают взаимно уравнивающиеся внутренние силы, обуславливающие напряжения [1].

Возникновение дополнительных напряжений в процессе деформирования вызывает следующие нежелательные последствия при обработке металлов давлением:

- увеличение сопротивления деформированию;
- снижение пластичности;
- искажение характера распределения напряжений в обрабатываемом слое поверхности.

Одним из факторов, влияющим на процесс деформирования, является контактное трение, возникающее на поверхности соприкосновения обрабатываемой детали и обрабатывающего инструмента. Трение в ряде случаев создает неоднородное напряженное состояние, а в других случаях увеличивает степень неоднородности. Так, при обработке режущих рабочих органов сельскохозяйственных машин методом осадки в результате контактного трения однородность деформации нарушается. Снижение контактного трения уменьшает неоднородность деформации, т.е. повышает качество обрабатываемой поверхности.

## **Постановка проблемы**

При обработке металлов давлением на поверхности трения действуют высокие давления, достигающие  $250 \text{ МН/м}^2$  и более и происходит значительное обновление поверхности контакта инструмента с деформируемым металлом в связи с общим увеличением поверхности последнего [2].

подавляющее число операций обработки металла деталей давлением осуществляется в условиях соприкосновения обрабатываемого металла с давящим инструментом. При этом частицы деформируемого металла скользят по поверхности инструмента, в результате чего возникают силы контактного трения, затрудняющие это скольжение.

Трение при обработке металлов давлением, в основном, является вредным фактором. Поэтому является важным проведение исследований по влиянию трения на долговечность обрабатываемого материала деталей при обычном и вибрационном деформировании.

### **Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме**

Контактное трение приводит к увеличению необходимого деформирующего усилия и работы деформации. Увеличение усилия бывает весьма заметным – в несколько раз [3].

Большое внимание особенностям пластического трения уделил Н.М. Павлов, которым были сформулированы основные отличия его от непластического («машинного») трения [4].

При пластическом деформировании поверхность инструмента деформируется упруго, а обрабатываемый материал детали деформируется пластически; его поверхность подвергается смятию и стремится принять форму поверхности инструмента.

В результате действительная площадь контакта пластически деформируемой детали с инструментом увеличивается с повышением степени деформации и необратимо приближается к номинальной, т.е. к геометрической площади трущихся поверхностей.

Действительная площадь контакта при вибрационном деформировании растет более интенсивно.

При пластическом деформировании главное значение имеет непрерывное «обновление» поверхности контакта деформируемого тела, так как в процессе деформации на эту поверхность непрерывно поступают из глубины новые частицы металла.

По данным С.И. Губкина, при увеличении деформируемого объема от 25 до 25000 см<sup>3</sup> коэффициент  $\Psi_0$  уменьшается от 1 до 0,4 [5].

Исследованиями указанных авторов установлено, что контактное трение несколько снижается с увеличением относительной скорости скольжения металла по поверхности инструмента, т.е. с увеличением скорости деформирования.

Как сказано ранее, трение для подавляющего числа операций обработки металлов давлением оказывает негативное влияние. Поэтому следует принимать все возможные меры к снижению трения. Среди наиболее эффективных методов повышения качества обработки поверхности является метод вибрационного деформирования.

### **Результаты исследований**

При трении скольжения изнашивание деталей машин происходит в первую очередь под влиянием внешних факторов, к которым следует отнести: характер нагрузки, скорость относительного перемещения трущихся тел, форма и размеры поверхности и др.

Изменение внешних факторов вызывает изменение физико-механических свойств материала пары трения и изнашивание трущихся поверхностей деталей.

При одной и той же нагрузке коэффициент и сила трения могут изменяться в широких пределах в зависимости от указанных выше факторов. При трении скольжение поверхности трения касаются ограниченными участками, количество и размеры которых зависят прежде всего от шероховатости поверхности и нагрузки.

Трение имеет двойственную молекулярно-механическую природу. Различают виды взаимодействия поверхностей: механическое зацепление

отдельных шероховатостей; молекулярное взаимодействие соприкасающихся твердых тел, проявляющееся в их притягивании.

Условия трения могут изменяться в широком диапазоне. Отдельные параметры условий трения могут принимать различные значения вследствие явлений и процессов, происходящих в поверхностных слоях металла.

Под влиянием внешних условий трения поверхностные слои существенно изменяются. Эти слои металла с новыми полученными физико-механическими свойствами, в свою очередь, вступают во взаимодействие с внешней средой. В каждом отдельном случае некоторые параметры трения могут оказывать решающее влияние на протекание процессов изнашивания.

В зависимости от условий трения и материала может иметь место тот или иной вид нарушения фрикционных связей и изнашивания. С учетом сказанного разработана классификация видов изнашивания, служащая основой для разработки направлений борьбы с изнашиванием деталей и сборочных единиц.

Металлические поверхности в процессе пластического деформирования упрочняются, микронеровности округляются. Сила и напряжение трения зависят от изменяющихся свойств деформируемого тела и закономерностей изменения их в процессе деформации. Закономерности изменения упрочнения приконтактных слоев зависят от степени и скорости деформации. По нашему мнению прочность приконтактных слоев больше прочности остальных слоев металла детали в результате дополнительных деформаций сдвига, среза неровностей при холодной деформации.

Строение поверхностного слоя и явления, возникающие в нем, имеют особое значение при протекании процесса изнашивания материала деталей машин. Состояние поверхностного слоя определяют процессы, возникающие при взаимодействии с окружающей средой или с другим телом. Кроме того, большинство видов разрушения деталей начинается с поверхности и зависит от ее состояния в результате следующих причин:

- поверхностные слои наделены избыточной энергией, поскольку молекулы и атомы этих слоев имеют свободные связи, благоприятствующие возникновению таких явлений, как когезия (схватывание), адсорбция (прилипание) и др., когда поверхностный слой приобретает особое строение;

- поверхностный слой формируется в результате разных технологических процессов, которые не только формируют необходимую форму поверхности и изменяют свойства материала, а и вызывают ряд побочных явлений, которые изменяют свойства твердого тела и его поверхности. Физико-химические параметры поверхностного слоя, его структура и напряженное состояние, как правило, существенно отличаются от свойств остального материала;

- в процессе работы соединения происходит непрерывное изменение (трансформация) параметров поверхностного слоя деталей в значительно большей мере, чем в остальном объеме.

Поэтому большинство отказов деталей машин связано с процессами, происходящими в поверхностных слоях, природу которых нельзя объяснить без анализа тех изменений, которые претерпевают характеристики поверхностного слоя при эксплуатации объектов.

Происходящие в поверхностных слоях процессы оцениваются параметрами, характеризующими их состояние:

- геометрию поверхностного слоя, включая микрогеометрию и отдельные дефекты поверхности;
- возникающие в поверхностных слоях напряжения на отдельных участках поверхности;
- структуру материала поверхностного слоя, изменяющуюся в процессе деформации.

Вследствие специфической конфигурации микронеровностей жесткость контакта в направлении движения достаточно велика, а деформация мала. Поэтому за время контакта выступы микронеровностей деформируются только в направлении действия внешнего нормального нагружения. Отдельные, наиболее выступающие микронеровности пластически деформируются даже при незначительных нагрузках, так как возникающие напряжения будут превышать предел текучести деформируемого материала вследствие малой площади контакта. С увеличением фактической площади контакта возрастает сила трения.

Увеличение трения происходит пропорционально действительной площади контакта. При этом происходит перераспределение нагрузок, в результате чего микронеровности деформируются неравномерно и имеют разные напряженные состояния. При продолжительном контакте, что имеет место при обычном деформировании, величина деформации стремится до определенного предела, а следовательно, и фактическая площадь контакта стремится до какого-то постоянного значения при заданном нагружении.

Фактическая площадь контакта изменяется больше в деталях с малой шероховатостью и существенно не изменяется в грубо обработанных деталях (рис.1).

Поскольку фактическая площадь контакта и сила трения зависят главным образом от шероховатости, физико-механических свойств материала и вида нагружения, то при решении конкретной задачи необходимо определить основной вид деформации.

При давлении металлические слои упрочняются и при повторном деформировании пластическая деформация будет осуществляться при нагрузке, превышающий предел текучести металла до упрочнения. Изменение напряжения упрочненного слоя учитывается коэффициентом  $C$ , который зависит от свойств материала и режимов деформирования:

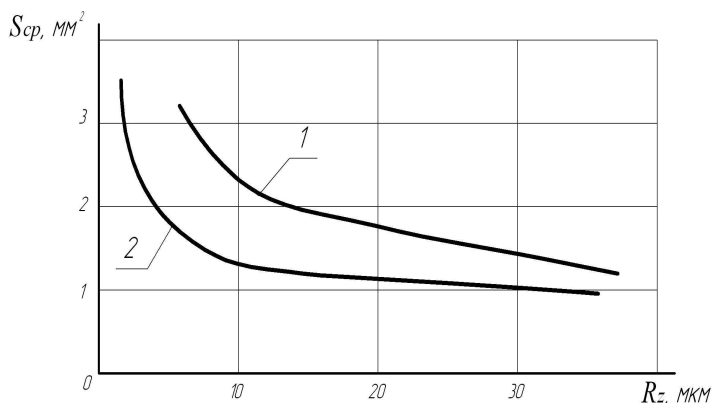


Рис. 1. Зависимости фактической площади контакта от шероховатости поверхности: 1 – бронза; 2 – сталь

$$C = \frac{h_1 E}{2,4 R_z \sigma_T}, \quad (1)$$

где  $h_1$  – изменение сближения поверхности обрабатываемой детали и инструмента;  $R_z$  – параметр шероховатости;  $E$  – модуль упругости более мягкого материала.

Исследованиями установлено, что  $C$  изменяется от 1 до 6. При вибрационном деформировании  $C = 7 \dots 10$ .

На величину изнашивания оказывает влияние продолжительность контакта отдельных участков.

При перемещении трущихся поверхностей с малыми скоростями скольжения возникают механические релаксационные колебания, обусловленные трением.

Вибрационное деформирование способствует уплотнению обрабатываемой поверхности и увеличению износостойкости восстанавливаемых (изготавливаемых) деталей.

В интервале давлений и скоростей, при которых металл в тонком поверхностном слое упрочняется, изнашивание деталей происходит за счет разрушения металла на отдельных, наиболее сближенных участках контакта, а также за счет абразивного изнашивания. Основной причиной, вызывающей снижение износа, является упрочнение металла при обработке давлением.

### **Выводы**

Для увеличения долговечности деталей необходимо назначать такие режимы обработки, при которых в активном поверхностном слое происходило бы дальнейшее упрочнение металла в результате структурных изменений, вызванных пластическим деформированием. Для этого необходимо проведение дальнейших исследований для определения влияния основных факторов на протекание процесса изнашивания деталей определенной номенклатуры.

**Список літератури:** 1.Березкин В.Г. Формоизменение металлов при обработке давлением / В.Г. Березкин. – М.: Машиностроение, 1973. – 154 с. 2.Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с. 3.Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка / И.В. Крагельский, В.В. Алисин. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с. 4.Павлов Н.М. Теория прокатки / Н.М. Павлов. – М.: Металлургия, 1965. – 610 с. 5.Губкин С.Н. Пластическая деформация деталей. – М.: Металлургиздат, 1970. – 400 с.

*Поступила в редколлегию 11.05.2011*

**УДК 629.463.65+629.463.66**

**В.В. ФОМІН**, заст. дир. ЗАО «Донецксталь»- металлургический завод»

### **ОПТИМІЗАЦІЙНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТІНИ БОКОВОЇ ОКАТИШЕВОЗІВ 20-9749 ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМАЛЬНОЇ МАТЕРІАЛОЄМНОСТІ**

В статті представлені особливості та результати оптимізаційного проектування елементів стіни бокової окатишевозів моделі 20-9749 за критерієм мінімальної матеріалоємності.

Ключові слова: оптимізаційне проектування, елементи стіни бокової.